

BAB I

PENDAHULUAN

Latar Belakang

Sel surya menawarkan solusi yang dapat dikembangkan secara berkelanjutan untuk menghadapi peningkatan kebutuhan energi secara global. Sel surya digunakan untuk mengubah energi matahari menjadi energi listrik dengan memanfaatkan sifat listrik material *photovoltaic* yaitu semikonduktor (Yan dkk., 2018).

Tingginya biaya pembuatan sel surya menjadi alasan utama mengapa *photovoltaic* hanya digunakan sebesar 0,09% dari konsumsi energi di Indonesia dan 1% dari konsumsi energi dunia meskipun memiliki banyak keunggulan. Biaya produksi perlu ditekan secara signifikan agar dapat diproduksi sel surya yang murah dengan performa yang baik sehingga dapat bersaing di pasaran, terutama dalam rangka memasuki era multi-terawatt (Twatt). Salah satu kunci dari pengurangan biaya sel surya adalah meningkatkan efisiensi sehingga dapat membangkitkan daya per satuan luas yang lebih tinggi. Dimana efisiensi komersil minimal 15% dapat berpeluang menurunkan biaya produksi *photovoltaic* secara signifikan (Huang dkk., 2014b)

Dalam sel surya, semikonduktor berperan sebagai *light absorption layer* (*absorber*). Material yang telah digunakan sebagai lapisan *absorber* dalam sel surya dengan efisiensi tinggi diantaranya GaAs, CdTe dan CIGS. Performa sel surya dengan ketiga material tersebut sebagai lapisan *absorber* sangat potensial untuk dijadikan sebagai sel surya komersial. Namun, ketiga semikonduktor tersebut memiliki kekurangan yaitu Arsenic pada GaAs serta Cadmium pada CdTe merupakan bahan yang beracun, sedangkan Indium pada CIGS memiliki harga yang sangat mahal dan persediaannya terbatas untuk digunakan dalam skala industri sehingga menurunkan potensinya untuk mencapai skala terawatt (Cui dkk., 2018).

Sel surya $\text{Cu}_2\text{ZnSnS}_4$ (CZTS) memiliki karakteristik yang mirip dengan sel surya $\text{Cu}(\text{In}_x\text{Ga}_{1-x})\text{S}$ (CIGS) yang efisiensinya telah mencapai 20%. CZTS

merupakan semikonduktor berjenis kuaternari yang atom-atomnya saling berikatan satu sama lain membentuk suatu susunan kristal berjenis *kesterite* atau *stannite* (Chen dkk., 2010). Selain itu, penggunaan CZTS sebagai lapisan *absorber* dapat mengatasi keterbatasan material yang tersedia dikarenakan sifatnya yang *non-toxic* dan *elemental abundance*. Dengan demikian, produksi bahan mentah CZTS dapat memenuhi pasokan listrik pada skala terawatt. (Huang dkk., 2014b).

Berdasarkan data perkembangan efisiensi sel surya yang dirilis oleh *The National Renewable Energy Laboratory* (NREL) Tahun 2020 menunjukkan bahwa efisiensi sel surya lapisan tipis CZTS terbesar yaitu 12,6 %. Hal tersebut menunjukkan bahwa sel surya lapisan tipis CZTS masih harus dikembangkan agar diperoleh efisiensi yang optimum. Berbagai fenomena yang terjadi baik pada *bulk* CZTS maupun antarmukanya seperti rekombinasi dan fase sekunder menyebabkan efisiensi sel surya CZTS secara praktikal masih lebih rendah dibandingkan efisiensi dari sel surya CIGS. Pada sel surya CZTS, fase sekunder terbentuk dalam jumlah besar karena kestabilan termodinamik fase sekunder dari CZTS lebih stabil dibandingkan kestabilan fase *kesterite* CZTS itu sendiri. Hal ini dapat diatasi dengan menggunakan komposisi *Cu-poor Zn-rich* sehingga dapat mengurangi kehadiran fase sekunder Cu_2SnS_3 yang menurunkan performa sel surya (Ennaoui dkk., 2009).

Lapisan *absorber* CZTS terdiri atas *elemental abundance* seperti Cu, Zn, Sn dan S. Dimana Indonesia memiliki material tersebut yang dapat dijadikan lapisan *absorber* pada CZTS dengan jumlahnya yang sangat melimpah dan berpotensi sebagai sumber energi utama di masa depan. Total sumber daya mineral di Indonesia pada tahun 2019 untuk elemen-elemen ini adalah Cu sebesar 16,355 juta bijih ton dengan cadangan 1,8 juta bijih ton; Zn sebesar 12,82 juta bijih ton dengan cadangan 32,5 juta bijih ton; Sn sebesar 11,9 juta bijih ton dengan cadangan 1308,9 juta bijih ton; S sebesar 1,7 juta bijih ton dengan cadangan 2,6 juta bijih ton. (Badan Geologi Kementrian ESDM, 2019). Dengan berlimpahnya sumber daya mineral di Indonesia merupakan latar belakang dilakukannya penelitian ini.

Secara praktikal, kebanyakan prekursor CZTS menggunakan material *Copper (II) acetate monohydrate* $\text{Cu}(\text{CH}_3\text{COO})_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$. Tetapi material tersebut dapat menimbulkan fase sekunder Cu_2S dan Cu_2SnS_3 dalam jumlah banyak (Reddy dkk., 2019). Oleh karena itu, dicari alternatif lain untuk mengurangi kehadiran fase sekunder tersebut. Dengan keberlimpahan material Cu di Indonesia menjadi sebuah alasan untuk memanfaatkan *Copper* dengan kemurnian 99% sebagai material yang dapat digunakan pada sintesis prekursor CZTS. Disamping keberlimpahan material tersebut, *Copper* memiliki harga relatif lebih murah dibandingkan dengan material *Copper (II) acetate monohydrate* atau biasa dikenal *Copper acetate*. Oleh karena itu, harapannya material Cu dapat diaplikasikan sebagai lapisan *absorber* pada sel surya lapisan tipis CZTS.

Karakteristik kristalin pada lapisan *absorber* CZTS yaitu memiliki fase sekunder yang lebih dominan dibandingkan fase *kesterite* dan memiliki ukuran kristal berkisar dari 0.5-2 μm (Repins dkk., 2011). Kedua hal tersebut akan mempengaruhi nilai *band-gap* pada lapisan *absorber* CZTS. Semakin besar ukuran kristal CZTS akan menyebabkan nilai *band gap* semakin besar pula (Kermadi dkk., 2016). Dengan *band gap* yang besar, sensitivitas absorpsi lebih sempit dari yang bisa didapatkan dengan *band gap* yang lebih kecil (Chen dkk., 2010). Apabila *band gap* terlalu besar dan dominan terhadap fase sekunder akan menurunkan performa sel surya CZTS. Sedangkan struktur mikro permukaan lapisan *absorber* CZTS menunjukkan homogen. Apabila terdapat retakan pada lapisan *absorber* dapat menurunkan performa sel surya CZTS. Hal tersebut terjadi karena retakan yang terbentuk dapat mengakibatkan lapisan *absorber* CZTS tidak dapat menyerap cahaya dengan baik sehingga menurunkan performa sel surya CZTS. (Tanaka dkk., 2011).

Berdasarkan penelitian sebelumnya yang telah dilakukan oleh Ziti dkk diketahui bahwa intensitas memiliki ketergantungan yang kuat terhadap konsentrasi Cu. Dimana intensitas (112) puncak menurun dengan meningkatnya konsentrasi Cu. Serta diketahui bahwa ukuran kristal berkurang ketika konsentrasi Cu meningkat. Struktur mikro lapisan *absorber* menjadi hampir homogen ketika konsentrasi Cu meningkat (Ziti dkk., 2019). Disamping itu, diketahui nilai *band*

Anggi Datiatur Rahmat, 2021

PENGARUH KONSENTRASI Cu TERHADAP KARAKTERISTIK LAPISAN ABSORBER DAN PERFORMA SEL SURYA LAPISAN TIPIS $\text{Cu}_2\text{ZnSnS}_4$

Universitas Pendidikan Indonesia | repository.upi.edu | perpustakaan.upi.edu

gap yang berkurang ketika konsentrasi Cu meningkat. Selain penelitian pada struktur kristal dan struktur mikro serta sifat optik, pengaruh konsentrasi Cu terhadap performa sel surya CZTS juga diteliti oleh Babu dkk. Hasil penelitian tersebut menyatakan bahwa semakin besar konsentrasi Cu dapat meningkatkan performa sel surya CZTS (Babu dkk., 2010). Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan sebelumnya, maka dapat diketahui bahwa konsentrasi Cu dapat berpengaruh terhadap struktur kristal, struktur mikro dan sifat optik serta mempengaruhi performa sel surya CZTS

Hal yang harus diperhatikan untuk mendapatkan performa yang optimum yaitu memperhatikan pemilihan metode pada eksperimen terutama menentukan teknik deposisi. Dimana larutan prekursor CZTS dibuat dengan metode *sol-gel* serta teknik deposisi *spin-coating* dianggap sebagai salah satu metode yang relatif murah dan singkat untuk sintesis dan fabrikasi lapisan tipis CZTS (Agawane dkk., 2015; Ali dkk., 2019). Tantangan utama dari metode ini adalah untuk membuat permukaan lapisan yang homogen dengan ukuran butir yang besar dan struktur mikro permukaan yang halus, tanpa kehadiran fase sekunder yang tidak diinginkan seperti Cu_2S , Cu_2SnS_3 , SnS_2 , SnS , dan ZnS (CTS) (W. Wang dkk., 2018). Selain itu, rendahnya efisiensi disebabkan oleh munculnya fase sekunder. Hal tersebut dapat diatasi dengan menggunakan komposisi *Cu-poor Zn-rich*. Dimana *Cu-poor Zn-rich* merupakan komposisi non-stoikiometri dengan komposisi Cu lebih sedikit dibandingkan Zn. Komposisi *Cu-poor Zn-rich* dapat meningkatkan pembentukan kekosongan Cu yang bertindak sebagai akseptor dangkal pada CZTS sehingga menghasilkan akseptor yang relatif dalam (Aldalbahi dkk., 2016).

Untuk mendapatkan komposisi *Cu-poor Zn-rich* maka dapat dilakukan dengan memvariasikan rasio $\text{Cu}/(\text{Zn}+\text{Sn})$ dan Zn/Sn untuk mengetahui konsentrasi Cu dan Zn yang terkandung pada prekursor CZTS yang akan dijadikan lapisan *absorber* pada sel surya lapisan tipis CZTS. Hal tersebut dilakukan bertujuan untuk mendapatkan performa terbaik. Penelitian sebelumnya menemukan bahwa sel surya CZTS memiliki performa tinggi pada lapisan *absorber* CZTS dengan menggunakan komposisi *Cu-poor Zn-rich* (H Katagiri dkk., 2010).

Kehadiran fase sekunder merupakan salah satu faktor yang mendasar atau yang alami dapat hadir pada lapisan *absorber* CZTS. Oleh karena itu kehadiran fase sekunder pada lapisan *absorber* CZTS harus diminimalisir untuk meningkatkan performa sel surya CZTS. Berdasarkan hal tersebut, maka dalam penelitian ini komposisi material yang digunakan yaitu *Cu-poor Zn-rich*. Pemilihan material *Copper* sebagai Cu pada sintesis prekursor CZTS bertujuan untuk mengetahui karakteristik material tersebut apabila dijadikan lapisan *absorber* CZTS. Komposisi material tersebut dipilih dengan tujuan dapat mengurangi kehadiran fase sekunder dan meningkatkan performa sel surya CZTS.

Rumusan Masalah

Berdasarkan pemaparan pada latar belakang, maka permasalahan yang diteliti dapat dirumuskan kedalam bentuk pertanyaan sebagai berikut:

1. Bagaimana pengaruh konsentrasi Cu terhadap struktur kristal yang terbentuk pada lapisan *absorber* sel surya lapisan tipis CZTS ?
2. Bagaimana pengaruh konsentrasi Cu terhadap struktur mikro yang terbentuk pada lapisan *absorber* sel surya lapisan tipis CZTS
3. Bagaimana pengaruh konsentrasi Cu terhadap karakteristik serapan cahaya pada lapisan *absorber* sel surya lapisan tipis CZTS ?
4. Bagaimana pengaruh konsentrasi Cu terhadap performa sel surya lapisan tipis CZTS ?

Tujuan Penelitian

Tujuan yang ingin dicapai dalam penelitian ini dapat dibuat sebagai poin-poin sebagai berikut:

1. Memperoleh gambaran mengenai pengaruh konsentrasi Cu terhadap struktur kristal yang terbentuk pada lapisan *absorber* sel surya lapisan tipis CZTS
2. Memperoleh gambaran mengenai pengaruh konsentrasi Cu terhadap struktur mikro yang terbentuk pada lapisan *absorber* sel surya lapisan tipis CZTS
3. Memperoleh gambaran mengenai pengaruh konsentrasi Cu terhadap karakteristik serapan cahaya pada lapisan *absorber* sel surya lapisan tipis CZTS

4. Memperoleh gambaran mengenai pengaruh konsentrasi Cu terhadap performa sel surya lapisan tipis CZTS

Manfaat Penelitian

Dengan adanya penelitian ini diharapkan dapat memperoleh data empiris terkait pengaruh konsentrasi Cu terhadap karakteristik struktur kristal, struktur mikro dan karakteristik serapan optik yang terbentuk pada lapisan CZTS dan mendapatkan performa terbaik dari sel surya lapisan tipis CZTS sehingga dapat bermanfaat untuk pengembangannya sebagai energi alternatif yang ramah lingkungan serta dapat dijadikan sebagai sumber energi terbarukan. Selain itu, penelitian ini sebagai informasi dalam penggunaan material *Copper* pada lapisan *absorber* CZTS sebagai salah satu cara untuk mengurangi harga pembuatan sel surya lapisan tipis CZTS dengan keberadaan materialnya yang melimpah dan harganya yang relatif lebih murah dibanding material *Copper acetate* sehingga akan mengurangi harga pembuatan sel surya. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa penggunaan material *Cooper* dinyatakan cocok untuk dijadikan lapisan *absorber* CZTS pada aplikasi *photovoltaic* dimana didapatkan performa terbaik dan nilai *band gap* yang optimal. Berdasarkan hasil penelitian, material *Cooper* dapat diusulkan sebagai kandidat lapisan *absorber* CZTS untuk bersaing dengan material *Cooper* standar lainnya.

Sistematika Penulisan

Secara garis besar skripsi ini terdiri dari lima bab dengan beberapa sub bab sebagai penjabar agar mendapat arah dan gambaran yang jelas mengenai hal yang tertulis, sub bab tersebut meliputi pendahuluan, tinjauan pustaka, metodologi penelitian, temuan dan pembahasan, serta simpulan dan rekomendasi.

BAB I Pendahuluan, pada bab ini berisikan hal mengenai latar belakang, rumusan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian serta sistematika dalam penulisan.

BAB II Tinjauan Pustaka menjelaskan tentang kajian pustaka yang digunakan sebagai dasar atau pondasi penulis dalam melakukan penelitian agar tujuan penelitian dapat tercapai. Pada bab ini dijelaskan teori dasar sel surya, desain struktur sel surya CZTS, pembahasan terkait lapisan *absorber* CZTS, struktur

Anggi Datiatur Rahmat, 2021

PENGARUH KONSENTRASI Cu TERHADAP KARAKTERISTIK LAPISAN ABSORBER DAN PERFORMA SEL SURYA LAPISAN TIPIS $\text{Cu}_2\text{ZnSnS}_4$

Universitas Pendidikan Indonesia | repository.upi.edu | perpustakaan.upi.edu

kristal CZTS dan pembahasan tentang riset-riset sebelumnya yang membahas tentang pengaruh rasio Cu/Zn+Sn terhadap karakteristik sel surya CZTS.

Pada BAB III disajikan metode-metode yang dilakukan oleh penulis untuk menyelesaikan penelitian ini. Diantaranya berisi tentang metode penelitian dimana penelitian ini dilakukan dengan dua metode yaitu studi literatur dan eksperimen, prosedur penelitian, alat dan bahan yang digunakan dalam penelitian, serta diagram alur penelitian.

BAB IV Temuan dan Pembahasan berisikan tentang hasil yang diperoleh dari penelitian, serta pembahasan-pembahasan yang dibuat berdasarkan atas latar belakang, tujuan, dan pokok permasalahan dalam penelitian. Sedangkan bab terakhir yaitu BAB V terdiri dari penutup yang memuat kesimpulan dari penelitian yang dilakukan dan saran untuk penelitian selanjutnya.